

Estado actual de la aplicación de los marcadores biogeoquímicos en paleoecología de mamíferos del pleistoceno tardío de México

Víctor Adrián Pérez-Crespo¹, Joaquín Arroyo-Cabrales², Luis M. Alva-Valdivia³, Pedro Morales-Puente⁴, Edith Cienfuegos-Alvarado⁴ y Francisco J. Otero⁴.

¹Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, 04150, México, D.F., México. E-mail: vpc79@gmail.com

²Laboratorio de Arqueozoología "M. en C. Ticul Álvarez Solórzano", Subdirección de Laboratorios y Apoyo Académico, INAH, Moneda 16 Col. Centro, 06060, México, D.F., México. E-mail: arromatu@hotmail.com

³Laboratorio de Paleomagnetismo, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, 04150, México, D.F., México. E-mail: lalva@tonatiuh.igeofcu.unam.mx

⁴Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la Investigación Científica S/N, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, 04150 México, D.F., México. E-mail: edithca@geol-sun.igeolcu.unam.mx; E-mail:

pedro_morales1@me.com; E-mail: fotero@geologia.unam.mx

Resumen

Se presenta una revisión del estado actual del uso de los marcadores biogeoquímicos en la paleoecología de mamíferos del Cuaternario de México. A diferencia de Estados Unidos y otros países que tenían más de 30 años empleándolas, México tiene solo cinco años usándolas, siendo la mayor parte de los estudios realizados hasta el presente enfocados a inferir la dieta y el hábitat de algunas especies de herbívoros de tallas grandes y medianas. Estas técnicas son menos usadas para estudios paleoclimáticos o para modelar movimientos regionales de los mamíferos.

Palabras clave: México, mamíferos, marcadores biogeoquímicos, pleistoceno tardío, paleoecología.

Abstract

This paper is a review on the use of the biogeochemical markers applied in paleoecological research for Mexican Quaternary mammals. While in the United States of America and other European countries this methodology has been used in the last 30 years, in México it has only being five years and their main use is to made inferences on diet and habitat of some herbivore mammals from middle to large size; these techniques were less used for paleoclimatic studies or to modeling regional mammals movements.

Keywords: México, mammals, biogeochemical markers, late pleistocene, paleoecology

Introducción

Una de las técnicas comúnmente empleadas en la paleontología, en especial en paleoecología de mamíferos cuaternarios, es el uso de los marcadores biogeoquímicos $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ y $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Koch, 2007). Una de las cualidades de estos marcadores es que se pueden encontrar en cualquier estructura orgánica, como son los huesos y las piezas dentales,, lo que hace posible analizar estos restos y, es precisamente esta característica lo que ha convertido a los marcadores biogeoquímico como una herramienta importante, ya que generalmente son los restos óseos los que se hallan en los sitios paleontológicos y rara vez, se conservan algunas partes blandas como son la piel, los órganos, pelos, etc. (Koch *et al.*, 2009; cuadro 1).

Esto ha permitido realizar diversos trabajos en los cuales los datos morfológicos no son precisos o complementarios a estos, como son el de deducir la dieta y el hábitat de especies extintas o actuales, observando si estos cambian o se mantienen en el tiempo o por factores geográficos como son la altitud, la altitud y la longitud (Feranec, 2004; MacFadden, 2005), analizando las condiciones climáticas que existieron en un sitio en el pasado y como han cambiado estas a través del tiempo e infiriendo ciertos patrones de migración, desplazamiento o procedencia de los animales hallados en un yacimiento (Hoppe *et al.*, 1999; Sánchez, 2005), convirtiéndose así en una de las técnicas ampliamente usada en el mundo.

Sin embargo, en el caso de México esta técnica ha sido poco empleada en los estudios paleoecológicos, especialmente aquellos enfocados a la mastofauna del Pleistoceno tardío. En este trabajo se presentaran una breve sinopsis de los estudios paleontológicos usando los marcadores biogeoquímicos, que se han realizado en México, así como su importancia, problemas y alternativas.

Cuadro 1. Materiales y isótopos analizados. Modificado de Koch *et al.*, 2009.

Tejido	Molécula	Isótopo presente	Preservación (años)
Pelo	Queratina	H, C, N, O	10^3
Pluma	Queratina	H, C, N, O	10^3
Hueso	Bioapatita	C, O	10^3 - $10^{8?}$
Hueso	Colágeno	H, C, N, O	10^5 - $10^{6(8?)}$
Esmalte	Bioapatita	C, O	10^8
Dentina	Bioapatita	C, O	10^3 - $10^{8?}$
Dentina	Colágeno	H, C, N, O	10^5 - $10^{6(8?)}$
Cascarón del huevo	Carbonato	C, O	10^7 - 10^8
Cascarón del huevo	Proteína	C, N	10^4

Historia de los estudios isotópicos en México

Durante mucho tiempo en México, la paleontología recurrió al actualismo biológico para realizar comparaciones entre algunos elementos óseos de las especies extintas con sus contrapartes actuales para deducir algunos aspectos ecológicos como la dieta y el hábitat. Por ejemplo, en el caso de los caballos del Pleistoceno, que poseen molares hipsodontos, los cuales son útiles para el

consumo de pastos, eran catalogados como una especie de hábitos alimentarios del tipo pacedor y dado que sus contrapartes actuales, las cebras habitan en zonas de vegetación abiertas como las sabanas, se infería que también habitaban en este tipo de vegetación.

En algunos casos, sencillamente se extrapolaban los datos obtenidos por los marcadores biogeoquímicos de algunas especies de mamíferos de otros países, especialmente de Estados Unidos de América (EUA) y Sudamérica, a sus contrapartes mexicanas (Johnson *et al.*, 2006).

Esto contrastaba con lo que sucedía en la antropología en México, donde ya existían algunos estudios usando esta técnica desde principios de la década de los 80's (DeNiro y Epstein, 1981), mientras que en EUA este tipo de estudios se aplicaban en algunos estudios paleoecológicos desde la década de los ochentas, pero fue hasta mediados de la década de los noventas que su uso comenzó a popularizarse, estudiándose principalmente la dieta y el hábitat de algunas especies de mamíferos de tallas grandes y medianas como los mamutes, mastodontes, caballos, camellos, etc., y en menor medida de algunas especies de mamíferos carnívoros, acuáticos y pequeños, principalmente del Cuaternario, aunque también se estudiaron los de otros periodos geológicos (Koch *et al.*, 1994; Koch, 1998; MacFadden *et al.*, 2004).

Esta diferencia con los EUA, fue en un inicio debida en parte al alto costo del equipo para realizar los análisis, pero el principal factor, fue la falta de comprensión de los conceptos y la metodología isotópica que existía entre los investigadores que se dedicaban a estudiar a los mamíferos del Pleistoceno mexicano. Sin embargo, Montellano-Ballesteros y Jiménez-Hidalgo (2006) indicaban la necesidad de comenzar a realizar estudios isotópicos en la mastofauna mexicana presentando una serie de preguntas que consideraban que esta técnica podría responder, como: ¿Qué resultados se obtendrán con la fauna mexicana si esta técnica fuese aplicada?, ¿las especies mantendrán su hábitos alimentarios independientemente del lugar donde ellos vivían o estos cambiaran de acuerdo a la latitud?, ¿los patrones alimentarios cambiarían a lo largo del tiempo en algunos taxa como los caballos (pasando de ramoneador a pacedor), de manera similar a como ha sido observado en EUA o el patrón será diferente? y ¿qué tipos de vegetación se inferirán usando los isótopos estables en diferentes regiones de México?

No fue sino hasta el 2007, cuando se comenzaron a obtener los primeros resultados usando los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{18}\text{O}$, en dos especies de herbívoros procedentes del Cedral, San Luis Potosí: un individuo del mamut de las praderas y 12 individuos de tres especies de caballos (Pérez-Crespo *et al.*, 2007). Los análisis indicaban que ambos animales eran organismos cuya dieta no se basaba solo en el consumo de pastos (pacedora), sino que también se alimentaban de hojas de árboles y arbustos (dieta mixta C3/C4), aunque en el caso de los caballos, la proporción de estas variaba de acuerdo a la especie que se tratara, lo cual era diferente a lo que se había propuesto usando solo las comparaciones morfológicas que asumían que ambos taxa eran especialistas en consumir pastos, pero las tres especies de caballos y el mamut preferían habitar en una zona abierta, como un pastizal o sabana

(Pérez-Crespo *et al.*, 2009). Así se comenzaron diversos estudios isotópicos en otras especies procedentes de otras localidades de México.

Localidades analizadas

En México existen 770 localidades pertenecientes al Cuaternario (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2007), para las cuales solo han realizado estudios usando esta técnica en 24 sitios, lo cual representa el 3% de todos los yacimientos en el país (Figura 1).

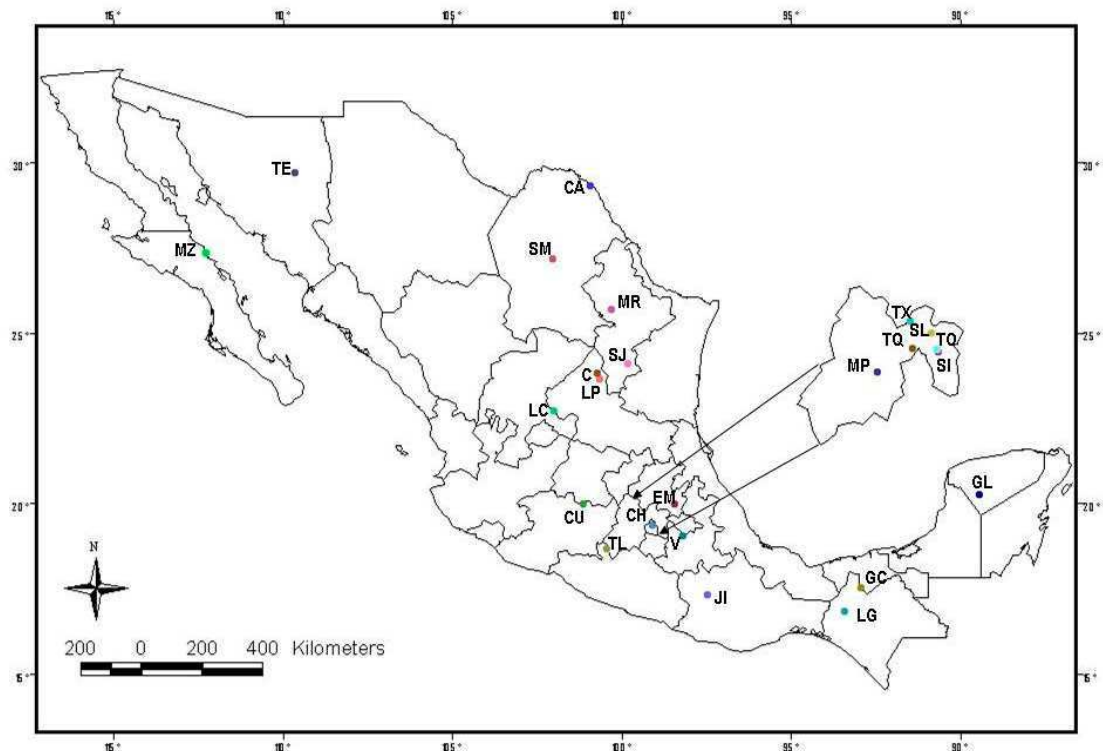


Figura 1. Pérez-Crespo. Localidades mexicanas donde se han realizado estudios isotópicos. MZ: El Mezquital, Baja California Sur, TE: Terapa, Sonora, CA: Ciudad Acuña, Coahuila, SM: Sierra de Menchaca, Coahuila, MR: Monterrey, Nuevo León, SJ: Cueva de San Josecito, Nuevo León, C: Cedral, San Luis Potosí, LP: La Presita, San Luis Potosí, LC: Laguna de las Cruces, San Luis Potosí, CU: Cuitzeo, Michoacán, EM: El Mirador, Hidalgo, CH: Culhualcan, Distrito Federal, TL: Tlatlaya, Estado de México, MP: Metepec, Estado de México, TQ: Tequesquinhua, Estado de México, TX: Tequixquiac, Estado de México, SL: Santa Lucia, Estado de México, TO: Tocuila, Estado de México, SI: Santa Isabel Iztapa, Estado de México, V: Valsequillo, Puebla, JI: Jicotlán, Oaxaca, LG: Los Grifos, Chiapas, GC: Coconá, Tabasco, GL: Loltún, Yucatán.

Se puede observar que el Estado de México es la entidad con el mayor número de estudios, ocho, seguida de San Luis Potosí con tres, mientras que Coahuila y Nuevo León poseen dos y Baja California Sur, Chiapas, Distrito Federal, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Sonora y Tabasco solo con una, mientras que el resto de las entidades del país carecen de alguna localidad que se haya estudiado usando esta técnica (cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación entre las entidades con localidades cuya mastofauna ha sido estudiadas isotópicamente de Estados Unidos y México. n: Número de localidades.

Estados Unidos		México	
Estado	n	Estado	n
Alaska	1	Baja California Sur	1
Arizona	8	Coahuila	2
California	5	Chiapas	1
Carolina del Sur	1	Distrito Federal	1
Colorado	2	Estado de México	7
Florida	18	Hidalgo	1
Nevada	10	Michoacán	1
Nuevo México	4	Nuevo León	2
Texas	23	Oaxaca	1
Virginia	1	Puebla	1
Wyoming	2	San Luis Potosí	3
		Sonora	1
		Tabasco	1
		Yucatán	1
Total	75	Total	24

Este número es menor si se compara contra el número de localidades analizadas en EUA. Sin embargo si consideramos el rango geográfico vemos que en México es más extensivo que en EUA, (cuadro 2).

En el caso de México, de algunas localidades donde la fauna ha sido estudiada usando estas técnicas, existe también evidencias de actividad humana, lo que ha permitido inferir algunas condiciones ambientales existentes que permitieron el establecimiento de los seres humanos en estos sitios. Por ejemplo, en el caso del Cedral, Laguna de las Cruces y Valsequillo, localidades con rastros antrópicos ubicadas en el centro de país, y asociadas a la presencia de diversos mamíferos herbívoros como los mamutes, caballos, bisontes y camellos, se había propuesto que en estos sitios se desarrollaron pastizales (Mirambell, 1982; Lorenzo y Mirambell, 1986; Johnson *et al.*, 2006). Sin embargo, los análisis isotópicos realizados en algunas especies de herbívoros de estos sitios indican que en estos sitios, durante el Pleistoceno tardío se desarrollaron bosques abiertos y no exclusivamente pastizales (Pérez-Crespo *et al.*, 2009, 2012a, 2012b).

Especies estudiadas en México

Se registran 13 órdenes, 44 familias, 147 géneros y 280 especies de mamíferos del Cuaternario en México (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 2010), de los cuales se han realizado estudios isotópicos en ejemplares de 6 órdenes, 13 familias, 16 géneros y 5 especies de herbívoros de tallas grandes y medianas (cuadro 3), omitiéndose los mamíferos pequeños y los carnívoros (Nunez *et al.*, 2010; Pérez-Crespo *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Taxa analizados e isótopos usados en México. n: Número de ejemplares usados

Orden	Familia	Especie	N	Marcador
Artiodactyla	Bovidae	<i>Bison sp.</i>	13	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
	Camelidae	<i>Camelops hesternus</i>	8	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
		<i>Hemiauchenia sp.</i>	3	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
	Cervidae	<i>Odocoileus sp.</i>	2	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
	Tayassuidae	<i>Platygonus sp.</i>	1	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
Cingulata	Glyptodontidae	<i>Glyptotherium sp.</i>	6	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
Perissodactyla	Equidae	<i>Equus sp.</i>	47	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
	Tapiridea	<i>Tapirus sp.</i>	5	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
Pilosa	Megatheriidae	<i>Eremotherium laurdillardi</i>	1	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
	Mylodontidae	<i>Glossotherium harlani</i>	6	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
Proboscidea	Elephantidae	<i>Mammuthus columbi</i>	32	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, ^{87}Sr
	Gomphotheriidae		2	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
		<i>Cuvieronius sp.</i>	2	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
		<i>Stegomastodon sp.</i>	6	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
		<i>Mammut americanum</i>	3	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
Rodentia	Hydrochoeridae		1	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$
		<i>Nechoerus sp.</i>	1	$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$

Este sesgo ha sido debido a que, en el caso de los carnívoros sus restos son escasos en el registro fósil, aunque en EUA y España existen estudios realizados en algunas especies de felinos, canidos y úrsidos del Pleistoceno (Kohn *et al.*, 2005; Palmqvist *et al.*, 2008). En el caso de los pequeños mamíferos, existen algunas limitaciones metodológicas al momento de obtener las muestras necesarias para ser analizadas; por ejemplo en el caso de esmalte se requieren alrededor de 20 mg para ser analizados (Koch *et al.*, 1997); sin embargo, esta cantidad no puede ser obtenidas del molar de un roedor y aunque recientemente se han comenzado a desarrollar algunas técnicas para que el esmalte de los pequeños mamíferos pueda ser analizado isotópicamente, su desarrollo aun es incipiente (Grimes *et al.*, 2008).

En México la especie más estudiada con esta técnica han sido los caballos con 47 ejemplares, seguidos de los mamutes con 32 especímenes, ello se debe a que los restos de ambos taxa son muy abundantes y se hallan ampliamente distribuido en todo el país (Arroyo-Cabrales *et al.*, 2007), mientras que el perezoso gigante (*Eremotherium laurdillardi*) y el jabalí (*Platygonus sp.*) solo cuentan con un ejemplar analizado. Si se compara con EUA, el número de taxa analizados es menor (cuadros 3 y 4);

Cuadro 4. Comparación de los órdenes, familias y géneros que han sido estudiados isotópicamente de Estados Unidos y México.

Orden	Familia	Géneros EUA	Géneros México
Didelphimorpha	Didelphidae	1	0
Cingulata	Glyptodontidae	0	1
	Pamphathiidae	1	0
Pilosa	Megalonychidae	1	0
	Megatheriidae	1	1
	Mylodontidae	1	1
Carnivora	Mustelidae	3	0
	Canidae	2	0

	Procyonidae	1	0
	Ursidae	2	0
	Felidae	5	0
	Hyaenidae	1	0
Rodentia	Sciuridae	1	0
	Geomyidae	1	0
	Castoridae	2	0
	Cricetidae	3	0
	Erithizontidae	1	0
	Hydrochoeridae	1	1
Lagomorpha	Leporidae	2	0
Perissodactyla	Equidae	1	1
	Tapiridae	1	1
Artiodactyla	Tayassuidae	2	1
	Camelidae	3	2
	Cervidae	4	1
	Antilocapridae	4	0
	Bovidae	3	1
Proboscidea	Mammutidae	1	1
	Gomphotheriidae	1	2
	Elephantidae	1	1
Total		51	15

Tipos de estudios

La mayor parte de los estudios en México se han enfocado a inferir la dieta y el hábitat de las especies extintas y, solo existe uno cuya enfoque ha sido el paleoclimático y otro que infiere la distancia a la que se desplazaban una población de mamutes; en este último trabajo se ha usado el $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (cuadro 2), mientras que en los restantes la $\delta^{13}\text{C}$ y la $\delta^{18}\text{O}$. Ello se debe a la necesidad de contrastar y probar las hipótesis previas sobre si la dieta y el hábitat de estos animales basadas en datos morfológicos eran correctos o no. Así algunos resultados preliminares en algunas especies han demostrado que lo asumido previamente era equivocado, por ejemplo en el caso de los mamutes, especie cuyos restos se encuentran distribuidos en todo México, se consideraba una especie especializada en el consumo de pastos, por lo que solo habitaba en praderas o pastizales.

Los análisis isotópicos de carbono y oxígeno realizados en este taxón, revelan que era un organismo no especialista en el consumo de pastos, sino que era capaz de consumir también hojas de árboles y arbustos (dieta mixta C3/C4), con algunos individuos completamente pacedores, pero habitaban en zonas de vegetación abierta, independientemente del sitio donde se hallaran viviendo (Pérez-Crespo *et al.*, en prensa).

Un patrón similar ha sido encontrado en los caballos, los cuales también fueron considerados como una especie completamente pacedora, aunque dado la falta de una determinación taxonómica precisa, no es posible decir si las diferencias halladas en algunos individuos que pertenecen a un mismo sitio, sean debidas a que son especies distintas de equídeos coexistiendo en la misma localidad, como lo observado en el Cedral, donde se ha inferido la

existencia de tres especies de caballos, *Equus* sp., *E. conversidens* y *E. mexicanus* (Alberdi *et al.*, 2003; Pérez-Crespo *et al.*, 2012a) y en Sudamérica, donde dependiendo de la especie o el género, *Hipparion* o *Equus*, los hábitos alimentarios tiende a ser diferentes (Prado *et al.*, 2011).

En contraste los gonfoterios mexicanos, fueron durante mucho tiempo clasificados como animales ramoneadores propios de zonas boscosas (Johnson *et al.*, 2006). Sin embargo, los análisis realizados en los géneros *Stegomastodon* y *Cuvieronius*, revelan algunos de estos animales habitaban en zonas abiertas y poseían dietas mixtas y otros eran ramoneadores y vivían en zonas boscosas, dependiendo esto más del género que se trate que de la posición geográfica del sitio donde se hallaban viviendo (Pérez-Crespo *et al.*, 2012b). Este mismo patrón había sido ya observado por Sánchez *et al.* (2004) con algunas poblaciones de gonfoterios sudamericanos.

Un caso diferente fue el de los gliptodontes, en los cuales existía una discusión al respecto sobre sus hábitos alimentarios y de hábitat; Gillete y Ray (1981) señalan que esta especie era un organismo ramoneador de hábitos acuáticos similares a los carpinchos actuales, mientras que Fariña y Vizcaíno (2001), con base al análisis morfofuncional del cráneo y los molariformes de estos animales, proponían que tuvieron una dieta pacedora y habitaban en pastizales. Los análisis realizados en tres individuos de esta especie procedentes del Cedral (Pérez-Crespo *et al.*, 2012c) indican que estos animales tenían una dieta mixta C3/C4 y habitaban en zonas abiertas, pero cercanas a fuentes de agua, pero, dado que son pocos individuos muestreados no es posible indicar si todos los gliptodontes de México, tenían estas mismas preferencias alimentarias y de hábitat.

En Terapa, que se ubica en el desierto de Sonora, la inferencia paleoclimática realizada a partir del análisis de los isótopos estables de carbono y oxígeno para algunas especies de mamíferos revela que durante el Pleistoceno Tardío, en el sitio existieron bosque con pastizales pero además, con un clima que se caracterizaba por ser más uniforme y menos estacional que el actual (Nunez *et al.*, 2010).

En el caso de los estudios que involucran patrones de migración, ámbito hogareño o desplazamiento de mamíferos pleistocénicos en México son prácticamente nulos; sin embargo, García-Zepeda *et al.* (2007) propusieron usar modelos geomorfológicos así como las localidades donde existían restos de mamutes para inferir las rutas de desplazamiento, pero sin indicar rangos geográficos que podían ocupar estos animales.

Posteriormente, Solís-Pichardo *et al.* (2011) usando las relaciones isotópicas de estroncio presentes en el esmalte dental de una población de cuatro mamutes procedentes de la Laguna de las Cruces, San Luis Potosí, encontró que un solo individuo tenía valores semejantes a los hallados en el suelo y las plantas del sitio, mientras que los demás mostraban valores distintos y uno de ellos, mostraba valores de ^{87}Sr semejantes a los exhibidos en el suelo y las plantas del Tepetate, sitio que se ubica a más 100 km de la Laguna de las Cruces; lo que da un idea de la distancia que se podía desplazar

esta especie. Una propuesta similar se encuentra en los trabajos realizados por Hoppe *et al.* (1999) y Hoppe y Koch (2006) con los mamutes de Florida, que indican que esta especie se desplazaba hasta 150 km de un sitio a otro.

Perspectivas a futuro

En México la aplicación de los marcadores biogeoquímicos en mamíferos del Cuaternario es aún incipiente. Sin embargo, se espera que a futuro, nuevas líneas y marcadores sean incorporadas, las cuales son:

a). Análisis de colágeno del hueso: en México la mayor parte de los estudios hasta el momento han usado la apatita del esmalte dental. Esto ha sido debido a que este material al ser más resistente a los procesos diagénéticos que el colágeno, es más confiable para analizar (Koch, 2007). Sin embargo, esto provoca un sesgo ya que solo se analizan aquellas localidades en donde existen molares de mamíferos dejando a un lado aquellas que solo se encuentran huesos. Adicionalmente en el caso del colágeno, existe un marcador biogeoquímico que no se halla en el esmalte dental: la $\delta^{15}\text{N}$. Este se puede usar para inferir el nivel trófico que ocupaba una especie en la cadena alimenticia, así como las condiciones de aridez que existían en una zona en el pasado.

b). Pequeños mamíferos y carnívoros: los pequeños mamíferos, como roedores y lagomorfos, son catalogados como excelentes herramientas para inferir las condiciones ambientales que existieron en un sitio en el pasado, como es el caso del clima. Por lo que los análisis isotópicos realizados hasta el momento en estos grupos de animales se han enfocado más a inferir las condiciones climáticas que a la dieta en sí, revelándose más preciso su uso en este tópico que sólo empleando mamíferos herbívoros grandes y medianos. En el caso de los carnívoros, al incluirlos en los análisis isotópicos en conjunto con los herbívoros, sirve para realizar inferencias más precisas acerca de las comunidades pleistocénicas así como para reconstruir las relaciones tróficas que existían en estas comunidades.

c): Patrones de migración: aunque ya existe un precedente en México de un trabajo que infiere la distancia a la cual se desplazaban algunos individuos de mamut, dado su pequeño número es imposible inferir si estos animales migraban en forma anual de un sitio a otro, como en el caso los mamutes y los mastodontes de Florida. Por lo anterior se hace necesario incluir más individuos de *Mammuthus* y otras especies, con la finalidad de indagar: ¿Cuáles eran los individuos o especies migrantes y cuales las residentes?, ¿a qué distancia y cuáles eran las posibles zonas en las que se desplazaban? y ¿si estos patrones se mantuvieron en el tiempo o se modificaron en respuesta a los cambios ambientales? Sin embargo, debe tomarse en cuenta que en el país existen regiones que poseen valores homogéneos de ^{87}Sr , como son la Faja Volcánica Transmexicana, ubicada en el Centro de México (Schaaf *et al.*, 2004), lo cual haría difícil determinar si algún animal tuvo algún movimiento regional. Por lo tanto, se hace necesario usar al mismo tiempo, la $\delta^{18}\text{O}$, para poder inferir los posibles zonas de desplazamiento y las distancia a la cual algunos animales se movían (Wright, 2012).

d). Otros marcadores biogeoquímicos: existen otros marcadores biogeoquímicos que no son tan populares en paleoecología de mamíferos como son los isótopos estables de carbono, nitrógeno y oxígeno: los elementos trazas (Sr/Ca, Ba/Ca) y las tierras raras. En el primer caso, estos son usados para realizar inferencias sobre paleodieta, pero adicionalmente son una alternativa a la $\delta^{15}\text{N}$ para inferir la posición trófica de algún animal, así como el tipo de vegetación que existió en una zona, lo cual daría una mayor resolución en el momento de inferir el tipo de hábitat donde los animales vivían y de manera indirecta el tipo de vegetación que existía en una zona, estableciendo sus cambios en el tiempo (Sillen y Lee-Throp, 1994). En cambio las tierras raras se han usado para verificar el grado de diagénesis en los restos óseos, pero también para corroborar si algunos restos encontrados en un yacimiento son contemporáneos o no (MacFadden *et al.*, 2012).

Así mismo, es recomendable realizar más trabajos de este tipo en aquellas especies que solo poseen un solo individuo analizado, con la finalidad de verificar si el tipo de dieta y de hábitat se mantiene, pero tratando de que el material analizado este fechado y así poder contrastar si estas dos características cambian o se mantienen en el tiempo. De la misma manera, el número de estudios paleoclimáticos debe de incrementarse y, sus resultados compararse con otro tipo de aproximaciones y de esta manera tener una visión más amplia de los cambios que sufrieron los ecosistemas de México durante el Pleistoceno Tardío.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de estudios de Postgrado No 200441 otorgada al primer autor y el apoyo dado para la realización de este proyecto (CB-2009-01-132620). Al Dr. Eduardo Corona-M por su invitación para participar en este número de la revista Archaeobios.

Referencias Bibliográficas

- Alberdi MT, Arroyo-Cabrales J, Polaco OJ (2003): ¿Cuántas especies de caballo hubo en una sola localidad del Pleistoceno Mexicano? *Revista Española de Paleontología* 18:205-212.
- Arroyo-Cabrales J, Polaco OJ, Johnson E (2007): An overview of the Quaternary mammals from México. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 259:191-203.
- DeNiro MJ, Epstein S (1981): Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 45:341-351.
- Fariña RA, Vizcaíno SF (2001) Carved teeth and strange jaws: How glyptodonts masticated. *Acta Paleontologica Polonica* 46:219-234.
- Feranec RS (2004) Geographic variation in the diet of hypsodont herbivores from the Rancholabrean of Florida. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 207:359-369.
- Ferrusquía-Villafranca I, Arroyo-Cabrales J, Martínez-Hernández E, Gama-Castro J, Ruiz-González J, Johnson E (2010): Pleistocene mammals of México: A critical review of regional chronofaunas, climate change response and biogeographic provinciality. *Quaternary International* 1-2: 53-104.

- García-Zepeda MA, Arroyo-Cabrales J, Hernández Madrigal VM, Garduño-Monroy VH, Polaco OJ, Johnson E (2007): Migratory routes in southern North America (Mexico) for *Mammuthus columbi* (Proboscidea, Elephantidae). Paper presented at the 4th International Conference, Yakutsk, Rusia.
- Gillette DD, Ray CE (1981): Glyptodonts of North America. *Smithsonian Contributions to Paleobiology* 40:1-255.
- Grimes ST, Collinson ME, Hooker JJ, Matthey DP (2008): Is small beautiful? A review of the advantages and limitations of using small mammal teeth and direct fluorination analysis technique in the isotopic reconstruction of past continental climate change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 256:39-50.
- Hoppe KA, Koch PL, Carlson RW, Webb SD (1999): Tracking mammoths and mastodons: Reconstruction of migratory behavior using strontium isotope ratios. *Geology* 27:439-442.
- Hoppe KA, Koch PL (2006): The biogeochemistry of the Aucilla River fauna. In: *First Floridians and Last Mastodons: The Page-Ladson Site in the Aucilla River* Edited by Webb SD, Chapter 13, Pp. 379-401.
- Johnson E, Arroyo-Cabrales J, Polaco OJ (2006): Climate, environment, and game animal resources of the Late Pleistocene Mexican grassland. In: *El hombre temprano en América y sus implicaciones en el poblamiento de la Cuenca de México*. Edited by Jiménez LJC, González S Pompa y Padilla JA Ortíz PF, Chapter, 16 Pp. 231-245.
- Koch PL (1998) Isotopic reconstruction of past continental environments. *Annual Review Earth Planetary Science* 26:573-613.
- Koch PL (2007): Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates. In: *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science* Edited by Michener R Lajtha K, Chapter 5, Pp. 99-154.
- Koch PL, Fogel ML, Tuross N (1994.): Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes. In: *Stable isotopes in Ecology and environmental* Edited by Lajtha K Michener R H, Chapter 4, Pp. 63-92.
- Koch PL, Tuross N, Fogel ML (1997): The effects of simple treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxylapatite. *Journal Archaeological Science* 24:417-429.
- Koch PL, Fox-Dobbs K, Newsome SD (2009): The isotopic ecology of fossil vertebrates and conservation paleobiology. In: *Conservation paleobiology. Using the past to manage for the future* Edited by Dietl GP, Flessa KW, Chapter, 6 Pp.95-112.
- Kohn MJ, McKay, MP Knigh JL (2005): Dining in the Pleistocene-who's on the menu? *Geology* 33:649-652.
- Lorenzo JL, Mirambell L (1986): Preliminary report on archeological and paleoenvironmental studies in the area of El Cedral, San Luis Potosí, México. In: *New Evidence for the Pleistocene Peopling of the Americas* Edited by Bryan AL, Chapter, Pp. 107-113
- MacFadden B (2005): Diet and habitat of toxodon megaherbivores (Mammalian, Notoungulata) from the late Quaternary of South America and Central America. *Quaternary Research* 64:113-124.
- MacFadden BJ, Higgins, Clementz MK, Jones DS (2004): Diets, habitats preferences and niche differentiation of Cenozoic sirenians from Florida: evidence from stable isotopes. *Paleobiology* 30:297-324.

- MacFadden BJ, Purdy BA, Church K, Stanford Jr TW, (2012): Humans were contemporaneous with Late Pleistocene mammals in Florida: evidence from rare earth elemental analyses. *Journal of Vertebrate Paleontology* 32:708-712.
- Mirambell, L (1982): Las excavaciones. In: Laguna de las Cruces, Salinas, S.L.P. Un sitio paleontológico del Pleistoceno final Edited by Mirambell L, Chapter 1, Pp. 128: 12-18.
- Montellano-Ballesteros M, Jiménez-Hidalgo E (2006): Mexican fossil mammals, who, where and when? In: Studies on Mexican paleontology Edited by Vega JF, Nyborg TG, Perrilliat MC, Montellano-Ballesteros M, Cevallos-Ferriz SRS, Quiroz-Barroso SA, Chapter, 12 Pp. 249-273.
- Nunez EE, MacFadden BJ, Mead JI, Baez A (2010): Ancient forests and grasslands in the desert: Diet and habitat of Late Pleistocene mammals from Northcentral Sonora, Mexico. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297: 391-400.
- Palmqvist P, Pérez-Claros JA, Janis CM, Figuerido B, Torregrosa V, Gröcke DR (2008): Biogeochemical and ecomorphological inferences on prey selection and resource partitioning among mammalian carnivores in an early Pleistocene community. *Palaios* 23:724-737.
- Pérez-Crespo VA, Arroyo-Cabrales J, Benammi M, Sánchez-Chillón B, Alberdi MT, Santos-Moreno A (2007): Diet and habitat landscape of *Equus* sp. and *Mammuthus columbi* for the Late Pleistocene deposit at El Cedral, San Luis Potosí, Mexico. agu\absbook\sm07_PP43C.html
- Pérez-Crespo VA, Sánchez-Chillón B, Arroyo-Cabrales J, Alberdi MT, Polaco O, Santos-Moreno A, Benammi M, Morales-Puente P, Cienfuegos-Alvarado E (2009): La dieta y el hábitat del mamut y los caballos del Pleistoceno tardío de El Cedral usando isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 26:347-355.
- Pérez-Crespo VA, Arroyo-Cabrales J, Alva-Valdivia L, Morales-Puente P, Cienfuegos-Alvarado E (2011): Paleoautoecología isotópica de localidades del Centro de México. Primer Congreso de Alumnos del Posgrado, Libro Resúmenes P. 256.
- Pérez-Crespo VA, Arroyo-Cabrales J, Alva-Valdivia LM, Morales-Puente P, Cienfuegos-Alvarado E (2012a): Datos isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) de la fauna pleistocénica de la Laguna de las Cruces, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29:299-307.
- Pérez-Crespo VA, Arroyo-Cabrales J, Alva-Valdivia L, Morales-Puente P, Cienfuegos-Alvarado E, Otero FJ (2012b): La paleodieta de cinco especies de mamíferos herbívoros rancholabreanos de Valsequillo, Puebla. II Encuentro Latinoamericano de Zooarqueología, Libro de Resúmenes, Santiago de Chile, Chile.
- Pérez-Crespo VA, Arroyo-Cabrales J, Alva-Valdivia LM, Morales-Puente P, Cienfuegos-Alvarado E (2012c): Diet and habitat definitios for Mexican glyptodonts from El Cedral (San Luis Potosí, México) based on stable isotopes analysis. *Geological Magazine* 149:153-157.
- Pérez-Crespo VA, Arroyo-Cabrales J, Benammi M, Santos-Moreno A, Morales-Puente P, Cienfuegos-Alvarado E (en prensa): Geographic variation of diet and habitat of Mexican populations of Columbian Mammoth (*Mammuthus columbi*). *Quaternary International*

- Prado JL, Sanchez B, Alberdi MT (2011): Ancient feeding ecology inferred from stable isotopic evidence from fossil horses in South America over the past 3 Ma. *BMC Ecology* 11:15: <http://www.biomedcentral.com/1472-6785/11/15>
- Sánchez B (2005): Reconstrucción del ambiente de mamíferos extintos a partir del análisis isotópico de los restos esqueléticos. In: *Nuevas técnicas aplicadas al estudio de los sistemas ambientales: los isótopos estables* Edited by Alcorn P, Redondo R, Toledo J, Chapter, 4 Pp. 49-64.
- Sánchez B, Prado JL, Alberdi MT (2004): Feeding ecology, dispersal, and extinction of South American Pleistocene gomphotheres (Gomphotheriidae, Proboscidea). *Paleobiology* 30:146-161.
- Schaaf P, Martínez-Serrano R, Siebe C, Macías-Vázquez J-L, Carrasco-Núñez G, Castro-Govea R, Valdéz-Moreno G (2004): Heterogeneous magma composition of Transmexican Volcanic Belt stratovolcanoes-geochemical and isotopic evidence for different basaltic compositions. In: *Neogene-Quaternary continental margin volcanism* Edited by Aguirre-Díaz GJ, Macías-Vázquez JL, Siebe C, P. 68.
- Sillen A, Lee-Thorp J (1994): Trace element and isotopic aspects of predator-prey relationships in terrestrial foodwebs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 107:243-255.
- Solís-Pichardo G, Pérez-Crespo VA, Schaaf PE, Arroyo-Cabrales J (2011): Sr isotopes and migration of prairie mammoths (*Mammuthus columbi*) from Laguna de las Cruces, San Luis Potosí, México. Joint Assembly of American Geophysical Union. Libro Resúmenes B13C-0595
- Wright L (2012): Immigration to Tikal, Guatemala: Evidence from stable strontium and oxygen isotopes. *Journal of Anthropological Archaeology* 31:334-352.